

STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA DI PULAU PANJANG

Andri Suherman^{1*}, Widia Tri Priane¹, Ajra Salmah¹, Rosdiansyah²

¹Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

*Email: andri.suherman@untirta.ac.id

Abstract

Electrical energy conditions in Pulau Panjang have been supplied by PLTD with 12 hours operation time, so by utilizing renewable energy can increase electricity production for 24 hours. This study aims to design an optimal PLTH system to save fuel consumption and reduce emissions, especially CO₂. The results of simulation and optimization using HOMER software show that the optimum PLTH to be applied in Pulau Panjang is the integration between PLTD and PLTS. At this optimum condition, the contribution of PLTS is 63% and PLTD 37% with net present value (NPC) of \$ 2,279,961, electricity generation (COE) of \$ 0.851 / kWh, fuel consumption per year 45,411 liters, CO₂ emissions produced by system amounted to 119,583 Kg / year or decreased by 83.355 from the initial condition and 60.513 kWh of electrical energy over the year.

Keyword: PLTH, NPC, COE, Emisi CO₂

Abstrak

Kondisi energi listrik di Pulau Panjang selama ini dipasok oleh PLTD dengan waktu operasi 12 jam, sehingga dengan memanfaatkan energi terbarukan dapat meningkatkan produksi listrik selama 24 jam. Penelitian ini bertujuan merancang sistem PLTH yang optimal untuk menghemat pemakaian bahan bakar dan mengurangi emisi terutama CO₂. Hasil simulasi dan optimasi dengan menggunakan software HOMER menunjukkan bahwa PLTH yang optimum untuk diterapkan di Pulau Panjang adalah integrasi antara PLTD dan PLTS. Pada kondisi optimum ini, kontribusi PLTS sebesar 63% dan PLTD 37% dengan nilai bersih sekarang (NPC) sebesar \$2.279.961, biaya pembangkitan listrik (COE) sebesar \$0,851/kWh, konsumsi BBM pertahun 45.411 liter, emisi CO₂ yang dihasilkan sistem sebesar 119.583 kg/tahun atau berkurang sebesar 83,355 dari kondisi awal dan kelebihan energi listrik selama setahun sebesar 60.513 kWh.

Kata kunci: PLTH, NPC, COE, Emisi CO₂

PENDAHULUAN

Saat ini kondisi energi listrik di Pulau Panjang di pasok oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang hanya beroperasi selama 12 jam, sehingga dengan memanfaatkan energi terbarukan dapat meningkatkan produksi listrik selama 24 jam. Untuk itu perlu dilakukan studi terlebih dahulu guna pengoperasian PLTD yang diintegrasikan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Secara keseluruhan integrasi ketiga macam pembangkit listrik tersebut dinamakan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH).

Berdasarkan peta insolasi matahari dan kecepatan rata-rata angin, wilayah Banten memiliki potensi energi listrik tenaga surya sebesar $3\text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ serta potensi energi listrik tenaga angin sebesar $1,21\text{ m/s}$ (BMKG, 2012). Pemanfaatan energi matahari dan angin secara optimal diharapkan dapat menjadi salah satu energi alternatif untuk mengurangi biaya pembangkitan serta meningkatkan produksi listrik di Pulau Panjang.

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan 4 kombinasi konfigurasi, yaitu PLTD diintegrasikan dengan PLTB, PLTD diintegrasikan dengan PLTS, PLTD diintegrasikan dengan PLTB dan PLTS, serta PLTB diintegrasikan dengan PLTS, serta PLTB diintegrasikan dengan PLTS.

Pengolahan data dalam studi ini keseluruhannya dengan menggunakan *software* HOMER.

DASAR TEORI

A. PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel Photovoltanik. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*direct current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*alternating current*) apabila diperlukan. Pemanfaatan tenaga surya sebagai pembangkit tenaga listrik, umumnya terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

1. Panel Surya

Panel surya berfungsi merubah cahaya matahari menjadi listrik arus searah (*Direct Current*), tenaga listrik yang dihasilkan tersebut harus mempunyai besar tegangan tertentu yang sesuai dengan tegangan yang diperlukan *inverter* kemudian *inverter* dapat dengan mudah merubahnya menjadi listrik arus bolak-balik (*Alternating Current*) apabila diperlukan.

Kenaikan temperatur sel surya 1°C dari 25°C akan berkurang sekitar 0,5% pada total tenaga yang dihasilkan. Besarnya daya yang berkurang pada saat temperatur di sekitar panel surya mengalami kenaikan $t^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{\text{saat selisih } t^{\circ}\text{C}} = [(0,5\% / ^{\circ}\text{C}) \times P_{\text{MPP}} \times t^{\circ}\text{C}] \dots (1)$$

Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperatur naik menjadi $t^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya diperhitungkan dengan persamaan:

$$P_{\text{MPP}} \text{ saat selisih } t^{\circ}\text{C} = P_{\text{MPP}} - P_{\text{saat } t \text{ naik}} \dots (2)$$

TCF (*Temperature Correction Factor*) adalah perbandingan antara daya keluaran maksimum panel surya naik menjadi $t^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya dengan daya keluaran maksimum panel surya. Besarnya TCF dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{TCF} = \frac{P_{\text{MPP}} \text{ saat naik}}{P_{\text{MPP}}} \dots (3)$$

Berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi energi yang dibangkitkan dengan panel surya, besarnya kapasitas panel surya yang dibutuhkan dalam suatu perencanaan sistem dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P(W_p) = E_L \div \text{PGF} \dots (4)$$

Dan nilai PGF diperoleh dari persamaan:

$$\text{PGF} = \text{CE} \times \text{Avr g Solar} \dots (5)$$

Selanjutnya berdasarkan besarnya kebutuhan daya panel yang akan dibangkitkan (W_{peak}), maka banyaknya

panel surya yang dipasang dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P(W_p)}{P_{\text{MPP}}} \dots (6)$$

2. Baterai

Baterai berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai mengalami siklus mengisi dan mengosongkan, tergantung pada ada atau tidaknya sinar matahari. Proses pengisian dan pengosongan ini disebut satu siklus baterai.

Kapasitas baterai umumnya dinyatakan dalam Ah (*Ampere Hour*). Besarnya kapasitas yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\text{Ah} = \frac{E_L}{(\% \text{Max DOD}) \times (\text{TCF}) \times V_{\text{baterai}}} \times \text{AD} \dots (7)$$

3. Inverter

Inverter adalah peralatan elektronik yang berfungsi mengubah arus DC menjadi arus AC. Energi yang dihasilkan panel surya adalah arus DC, pada sistem PLTS dibutuhkan inverter untuk mengubah energi dari panel dan baterai tersebut agar dapat menyuplai kebutuhan energi dengan arus AC.

Perhitungan kapasitas inverter berdasarkan beban puncak yang harus disuplai serta dihitung dengan menambahkan faktor *future margin, error*

margin dan *capacity factor* seperti persamaan berikut

$$P = \frac{EL_{bp} \times FM \times EM}{CF} \dots\dots\dots(8)$$

B. PLTB

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah pembangkit listrik yang merubah potensi energi angin menjadi energi listrik. Angin adalah udara yang bergerak/mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Kecepatan angin di suatu tempat dipengaruhi oleh ketinggian terhadap tanah, kecepatan angin makin kecil. Adapun hubungan antara kecepatan angin disuatu ketinggian dengan ketinggian lainnya dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{V}{V_r} = \left[\frac{H}{H_r} \right]^a \dots\dots\dots(9)$$

daya keluaran turbin angin secara matematis diformulasikan sebagai berikut:

$$P_{TB} = P_{nom} \left\{ \frac{\exp \left[- \left(\frac{V_{cut-in}}{C} \right)^k \right] - \exp \left[- \left(\frac{V_{nom}}{C} \right)^k \right]}{\left(\frac{V_{nom}}{C} \right)^k - \left(\frac{V_{cut-in}}{C} \right)^k} - \exp \left[- \left(\frac{V_{cut-off}}{C} \right)^k \right] \right\} \dots\dots\dots(10)$$

Jumlah turbin angin yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_{TB} = \frac{ELT}{P_{TB} \times t_{TB}} \dots\dots\dots(11)$$

C. PLTD

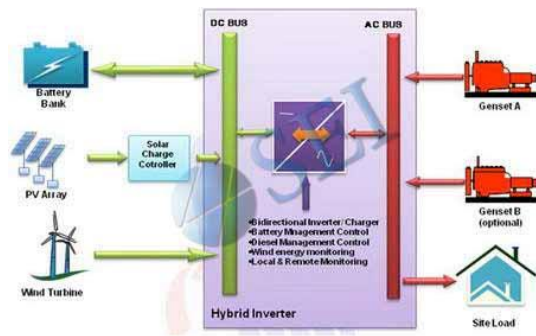
Pembangkit Listrik Tenaga Disel (PLTD) sesuai untuk diimplementasikan

pada lokasi untuk pengeluaran bahan bakar rendah, persediaan air terbatas, minyak sangat murah dibandingkan dengan batu bara dan semua beban dasarnya adalah seperti yang dapat ditangani oleh mesin pembangkit dalam kapasitas kecil, serta dapat berfungsi dalam waktu yang singkat.

Keunggulan PLTD antara lain, daya listrik tersedia sesuai dengan kebutuhan, secara teknis handal, layanan purna jual relatif mudah diperoleh, dan biaya investasi (Rp/kWh) relatif murah. Kelemahannya antara lain, biaya operasi dan pemeliharaan mahal, memerlukan transportasi penyediaan dan penyimpanan BBM, menimbulkan polusi udara, kebisingan dan bau, memerlukan pemeliharaan rutin dan sistem operasi tidak efisien (boros) pada kondisi beban rendah.

D. PLTH

PLTH adalah suatu sistem pembangkit listrik yang mengintegrasikan beberapa jenis pembangkit listrik, pada umumnya antara pembangkit listrik berbasis BBM dengan pembangkit listrik berbasis EBT (seperti pembangkit angin, surya, mikrohidro dll). Sistem operasi PLTH dibagi menjadi 2 jenis yaitu sistem serial dan paralel.



Gambar 1.(a) sistem serial(b)sistem paralel

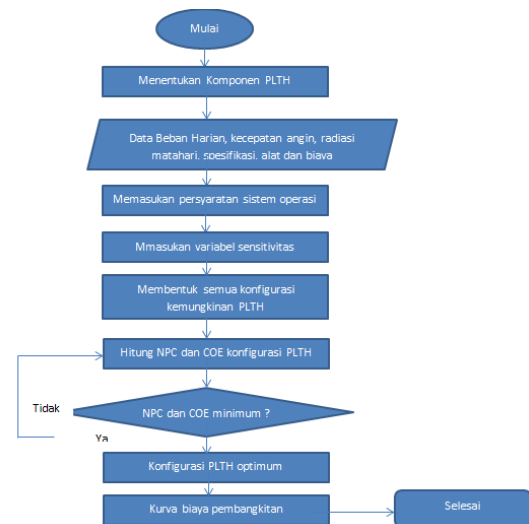
Sistem serial adalah semua pembangkit daya mensuplai daya DC ke dalam baterai, setiap komponen harus dilengkapi dengan charge controller sendiri, untuk menjamin operasi yang handal sistem ini, generator dan inverter harus didesain agar dapat melayani beban puncak. Sistem paralel adalah beban dapat disuplai baik dari generator maupun inverter secara paralel. Bi-directional Inverter (BDI) digunakan untuk menjembatani antara baterai dan sumber AC, BDI dapat mengisi baterai dari generator (AC-DC converter) maupun sumber energi terbarukan.

E. Emisi

Pengoperasian PLTD memberikan beberapa dampak negatif, antara lain memberikan kebisingan pada daerah kerja mesin pembangkit dan menurunnya kualitas udara jika terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Menurunnya kualitas udara tersebut dipengaruhi beberapa emisi yang dihasilkan oleh PLTD antara lain berupa emisi CO_2 , SO_x , NO_x , CO dan Pb.

METODE

Perancangan sistem PLTH yang dibuat pada penelitian digunakan untuk studi kelayakan pembangkit listrik tenaga hybrid (diesel-surya-angin). Penelitian ini akan memodelkan 4 macam kemungkinan konfigurasi dari sistem komponen PLTH. Hybrid PLTD-PLTB, dan hybrid PLTD-PLTS, hybrid PLTD-PLTB-PLTB, dan hybrid PLTB-PLTS. Secara sederhana proses studi kelayakan pembangkit hybrid (diesel, angin, surya) dapat dijelaskan melalui diagram alir pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan Penelitian

ASPEK BIAAYA

1. Biaya Nilai Bersih Sekarang (BNBS)

Biaya nilai bersih sekarang adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem PLTH, HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasarkan nilai NPC terendah. Nilai bersih sekarang terdiri dari biaya investasi awal, biaya

pemeliharaan dan operasional serta biaya penggantian.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, r_{proj})} \dots \dots \dots (12)$$

Faktor penutupan modal bisa didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$CRF(i, R_{proj}) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \dots \dots \dots (13)$$

2. Biaya Energi (*Cost of Energy*)

Biaya energi merupakan perbandingan antara biaya total per tahun dari sistem dengan energi yang dihasilkan selama periode yang sama.

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim,AC}} \dots \dots \dots (14)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Sistem PLTH

1. Estimasi Beban

Suplai energi listrik di Pulau Panjang dalam satu hari hanya 12 jam saja yaitu pukul 18.00-06.00 wib dengan rata-rata pemakaian energi listrik mencapai 306,74 kW. Beban yang akan disuplai oleh PLTH dilakukan dengan cara menambahkan pemakaian energi listrik selama 12 jam pada rentang waktu 06.00-18.00 wib dengan rata-rata pemakaian energi listrik sebesar 23,06 kW. Besar beban yang akan disuplai sistem PLTH berdasarkan hasil perhitungan didapat beban selama 24 jam sebesar 566,34 kW.

2. Kapasitas dan Jumlah Panel Surya

Daya yang dibangkitkan PLTS (W_p) disesuaikan dengan kebutuhan beban yang akan disuplai serta dipengaruhi oleh faktor pembangkitan panel surya (PGF). Faktor pembangkitan panel surya (PGF) dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (5) dengan nilai referensi CE (*Collection Efficiency*) panel surya pada software HOMER sebesar 84% dan nilai rata-rata intensitas matahari di Pulau Panjang sebesar 3,00 kWh/hari (BMKG, 2012). Apabila nilai CE dan rata-rata intensitas matahari di Pulau Panjang disubstitusikan pada diperoleh nilai PGF sebesar:

$$\begin{aligned} PGF &= CE \times \text{Avrg Solar} \\ &= 0,84 \times 3 \text{ kWh/hari} \\ &= 2,52 \text{ kWh/hari} \end{aligned}$$

Kapasitas pembangkitan panel surya (W_p) sebesar:

$$\begin{aligned} P_{24}(W_p) &= E_L \div PGF \\ &= 566,34 \div 2,52 \\ &= 224,74 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Maka jumlah panel surya yang diperlukan sebanyak:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{P(W_p)}{PMPP} \\ &= \frac{224,744 \text{ kW}}{160 \text{ W}} \\ &= 1405 \text{ panel surya} \end{aligned}$$

Adapun 1405 panel surya tersebut akan dibentuk menjadi rangkaian panel atau *array* yang disesuaikan dengan rating tegangan sistem sebesar 420 V dan

kapasitas pembangkitan, maka pada 1 string rangkaian panel surya dibutuhkan panel surya yang dipasang seri sebanyak:

Jumlah rangkaian seri pada satu string

$$= 420 \text{ V} \div 35,1 \text{ V}$$

$$= 11,9 \sim 12$$

Sehingga rangkaian string yang berbentuk sebanyak

$$= 1405 \div 12$$

$$= 117$$

3. Kapasitas dan Jumlah Baterai

Saat siang hari, sebagian beban tidak perlu terlalu lama disimpan dalam baterai karena besarnya energi yang dihasilkan PLTS pada siang hari akan mencapai nilai maksimum sehingga energi dari panel surya dapat langsung disalurkan ke beban berdasarkan pertimbangan tersebut maka kapasitas baterai akan dihitung untuk kebutuhan energi pada malam hari saja yaitu sebesar 306,74 kWh/hari. Besarnya kapasitas baterai yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (I) &= \frac{E_l}{(\%MaxDOD) \times (TCF) \times V_{baterai} \times AD} \\ &= \frac{306,73 \text{ kWh/hari}}{(0,8) \times (0,96) \times (420)} \times 3 \\ &= 2852,86 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Untuk dapat memenuhi kebutuhan energi, baterai yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas 1156 Ah dengan tegangan nominal baterai 6 V. Adapun rangkaian baterai dipasang secara

seri dan paralel. Agar dapat memenuhi kebutuhan 2852,86 Ah/hari dan sesuai rating tegangan pada sistem 420 V maka jumlah baterai yang digunakan sebanyak 210 unit. Rangkaian baterai membentuk 3 rangkaian yang terhubung paralel dengan 1 rangkaian terdiri dari 70 baterai terhubung seri.

4. Kapasitas Inverter

Perhitungan kapasitas inverter berdasarkan beban puncak yang harus disuplai serta dihitung dengan menambahkan faktor future margin, error margin dan capacity factor berdasarkan beban puncak bernilai 30,16 kW, maka untuk dapat memenuhi kebutuhan beban puncak, kapasitas minimum inverter yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= \frac{30,16 \times 1,1 \times 1,1}{0,9} \\ &= 40,55 \text{ kW} \end{aligned}$$

Berdasarkan rating minimum inverter yang dibutuhkan yaitu 40,55 kW, maka dipilih inverter berkapasitas 50 kW. Inverter 50 kW ini memiliki rated voltage input sebesar 420 V, oleh karena itu sistem PLTH yang akan dikembangkan menggunakan rating tegangan sistem sebesar 420 V.

5. Kapasitas dan Jumlah Turbin

Perhitungan kapasitas turbin angin dengan mengasumsikan turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bergeywind turbine generator BWC Excel

–R ketinggian 24m dengan menggunakan persamaan (10) daya keluaran turbin angin diperoleh:

$$P_{TB} = 7500 \left\{ \frac{\exp \left[-\left(\frac{3,1}{6,1} \right)^{1,77} \right] - \exp \left[\left(\left(\frac{13,8}{6,1} \right)^{1,77} \right) \right]}{\left(\frac{13,8}{6,1} \right)^{1,77} - \left(\frac{3,1}{6,1} \right)^{1,77}} \right. \\ \left. - \exp \left[-\left(\frac{15,6}{6,1} \right)^{1,77} \right] \right\} = 1342,15 \text{ watt}$$

Jumlah turbin angin yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$N_{TB} = \frac{566340}{1342,15 \times 24} = 17,6 \sim 18 \text{ unit}$$

B. Pengujian Konfigurasi PLTH

Sistem PLTH yang telah dirancang dan disimulasikan dengan menggunakan software HOMER akan menghasilkan beberapa konfigurasi, sehingga mendapatkan konfigurasi yang optimal dan layak untuk diterapkan di Pulau Panjang.

1. Kondisi PLTD

Kondisi PLTD adalah sebagai pembanding untuk kondisi selanjutnya yang merupakan skema PLTH. Hasil simulasi kondisi PLTD dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1 Hasil Simulasi pada kondisi PLTD

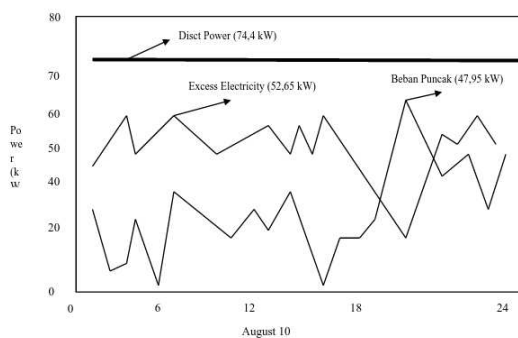
Parameter	PLTD
Biaya (\$)	
NPC (\$)	5.123.461
Initial Capital Cost (\$)	60.600
Operating Cost (\$)	387.437
COE (\$/kWh)	1.911
Kontribusi ET (%)	
PLTD	100
Konsumsi Bahan Bakar (L)	
Disel 248KW	272.755
Waktu Operasi (jam/tahun)	
PLTD	8.76
Total Produksi (kWh/tahun)	
PLTD	651.732
Kelebihan Listrik (kWh/tahun)	
	446.614

Pada tabel 1 terlihat bahwa biaya nilai \$5.123.461 dengan biaya energi listrik bersih sekarang (NPC) sangat besar yaitu (COE) \$ 1. 911/kWh, PLTD dalam 1 tahun

mengonsumsi BBM sebesar 272.755 liter dalam waktu operasi 8.760 jam/tahun. Besar produksi yang dihasilkan sebesar 652.732 kWh/tahun.

Besarnya produksi energi dan pemakaian energi listrik akan mempengaruhi kondisi ketersediaan listrik, tiap harinya. Untuk mengetahui kemampuan kondisi PLTD dalam menyuplai kebutuhan listrik, maka diambil satu sampel hasil simulasi mengenai kondisi ketersediaan listrik pada bulan agustus dengan nilai pemakaian tertinggi.

Kondisi ketersediaan listrik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kondisi ketersediaan listrik PLTD

Gambar 3 adalah kondisi suplai listrik PLTD pada tanggal 10 agustus 2012, beroperasi hampir sepanjang hari dengan keluaran daya sebesar 74,4 kW. Kebutuhan beban puncak terjadi pada pukul 18.30 wib yaitu sebesar 47,95 kW. Pada kondisi ini terdapat kelebihan listrik (*excess electricity*) yang sangat besar, ini terjadi karena listrik yang diproduksi oleh

PLTD selama satu tahun berlebihan dibandingkan dengan beban yang ada. Sepanjang tahun 2012, kelebihan listrik pada kondisi ini adalah sebesar 446.614 kWh/tahun atau 68.5% dan terjadi

Tabel 2. Pemakaian energi dari tertinggi sampai terendah

Bulan	Rata-rata pemakaian energi (kWh/hari)
Agustus	591,834
Maret	579,447
Juni	570,924
September	569,634
April	566,4
Desember	561,626
Oktober	559,14
Juli	556,235
Januari	555,502
November	547,697
Mei	544,273
Februari	539,301

sepanjang hari dengan nilai maksimum. mencapai 52.85 kW. Energi listrik tersebut tidak dapat dimanfaatkan, karena tidak terdapat baterai sebagai tempat penyimpanan energi listrik pada sistem ini.

2. Kondisi PLTH

Hasil simulasi dari semua konfigurasi PLTH menggunakan software HOMER, diperoleh sistem PLTH yang optimal dan layak yaitu sistem PLTH dengan konfigurasi PLTD-PLTS.

Terdiri dari PLTS berkapasitas 224,173 kW dengan panel surya sebanyak 1405 unit, PLTD berkapasitas 248 kW, baterai sebanyak 210 unit, dan inverter berkapasitas 50 kW. Kondisi PLTH akan diberi pembebanan 24 jam dengan besarnya kebutuhan energi dalam satu hari sebesar 566,34 kWh. Pada simulasi kondisi sistem PLTH konfigurasi PLTD-PLTS, waktu penyalaan generator disel diatur agar dapat meminimalkan operasi kerja PLTD dan menghemat pemakaian bahan bakar. Berikut adalah schedule time penyalaan generator disel untuk sistem PLTH konfigurasi PLTD-PLTS.

Tabel 3. Schedule penyalaan generator disel

Waktu Operasi	Waktu <i>Forced on</i>	Waktu <i>Forced off</i>	Waktu <i>optimized</i>
24 jam	18.00-20.00	01.00-18.00	20.00-01.00

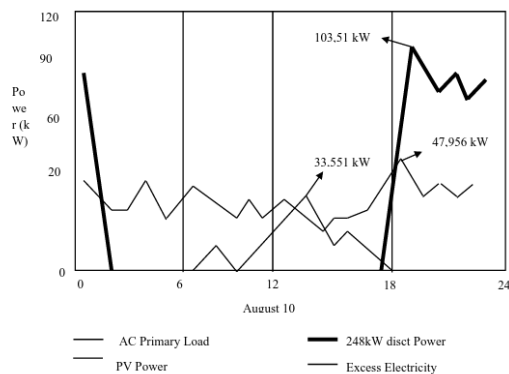
Pada table 3. Menunjukkan bahwa generator disel beroperasi secara optimal, generator disel tidak selamanya beroperasi selama 7 jam setiap harinya namun menyesuaikan kapasitas energi yang dibutuhkan sesuai waktu yang ditentukan. Hasil simulasi PLTH optimal dapat dilihat pada tabel4

Tabel 4. Hasil simulasi kondisi PLTH 2

Parameter	PLTD-PLTS
Biaya (\$)	
NPC (\$)	2.279.961
Initial Capital Cost (\$)	1.207.847
Operating Cost (\$)	82.044
COE (\$/kWh)	0.851
Kontribusi ET (%)	
PLTD	37
PLTS	63
Konsumsi Bahan Bakar (L)	
Disel 248KW	45.411
Waktu Operasi (jam/tahun)	
PLTD	1.381
PLTS	4.380
Total	
Produksi(kWh/tahun)	
PLTD	112.493
PLTS	192.628
Kelebihan Listrik (kWh/tahun)	60.513

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 2.4. Diperoleh biaya nilai bersih sekarang (NPC) sebesar \$2.279.961, dengan biaya energi listrik (COE) sebesar \$0.851/kWh, kontribusi energi PLTS sebesar 63% atau 192.628 kWh/tahun dan PLTD sebesar 37% atau 112.493 kWh/tahun. Total produksi

listrik yang dihasilkan oleh PLTD-PLTS dalam satu tahun adalah sebesar 305.112 kWh/tahun. Kondisi ketersediaan listrik pada bulan agustus dapat dilihat pada Gambar:



Gambar 4. Kondisi ketersediaan listrik PLTH 2

Pada gambar 4 adalah kondisi suplai listrik pada tanggal 10 agustus 2012. PLTS beroperasi hampir sepanjang hari kecuali pada pukul 01.00 s/d 06.00 wib dan pada pukul 19.00 s/d 00.00 wib berhenti beroperasi, kemudian digantikan oleh PLTD. Keluaran daya maksimum PLTS sebesar 33,551 kW terjadi pada pukul 13.30 wib. PLTD tidak akan beroperasi pada pukul 02.00 s/d 16.00 wib ketika kebutuhan listrik dapat terpenuhi oleh produksi listrik yang dipasok PLTS. Keluaran daya maksimum PLTD sebesar 103.51 kW terjadi pada pukul 18.30 wib, sedangkan kebutuhan beban

puncak terjadi pada pukul 18.30 wib sebesar 47.956 kW.

Kelebihan listrik pada tanggal 10 agustus 2012 tidak terjadi, karena disel yang beroperasi hanya menghasilkan total energi listrik sebesar 651,7 kW, PV menghasilkan total energi listrik sebesar 139,144 kW, sedangkan total kebutuhan energi listrik sebesar 768.284 kW.

Berdasarkan nilai NPC terendah, COE rendah, dan kontribusi yang optimal, maka penelitian sistem PLTH dengan konfigurasi PLTH 2 (PLTD-PLTS) sangat optimal untuk diimplementasikan di Pulau Panjang.

C. Emisi

Kondisi kelistrikan PLTD di Pulau Panjang yang diasumsikan beroperasi 24 jam untuk memenuhi kebutuhan listrik, menghasilkan tingkat emisi yang sangat besar dan mempengaruhi keadaan lingkungan sekitar menjadi tidak sehat. Berdasarkan hasil simulasi kondisi PLTD dan PLTH pada software HOMER diperoleh penurunan tingkat emisi yang dihasilkan PLTD dan meningkatnya kontribusi masing-masing PLTH. Perbandingan nilai emisi yang dihasilkan PLTD dengan PLTH dapat dilihat pada tabel 5

Tabel 5. Perbandingan Emisi yang dihasilkan PLTD dengan PLTH

Kondisi	Emisi (kg/tahun)					
	CO ₂	CO	HC	PM	SO ₂	NO _x
PLTD	718254	1773	196	134	1442	15820
PLTH 1	198451	490	54,3	36,9	399	4371
PLTH 2	119583	295	32,7	22,3	240	2634
PLTH 3	98953	244	27,1	18,4	199	2179
PLTH 4	0	0	0	0	0	0

Pada tabel 5, ketika desain PLTH disimulasi dan dioptimasi dengan nilai kontribusi energi terbarukan minimum adalah 0%, maka didapatkan tingkat emisi CO₂ dan Sox semakin menurun seiring dengan menurunnya waktu operasi dari PLTD. Nilai tertinggi emisi CO₂ terjadi ketika kontribusi energi terbarukan 0% dengan nilai emisi CO₂ adalah 718254 kg/tahun. Nilai emisi CO₂ pada kontribusi PLTD-PLTS menjadi 119583 kg/tahun ketika kontribusi energi terbarukan 63%, berkurang sebanyak 83,35% atau 598671 kg/tahun. Hal yang sama juga terjadi pada emisi Sox, ketika kontribusi energi terbarukan 0% nilai emisi Sox adalah 1442 kg/tahun. Nilai emisi Sox pada kontribusi PLTD-PLTS menjadi 240 kg/tahun ketika kontribusi energi terbarukan 63%, berkurang sebanyak 86,68% atau 1250 kg/tahun.

D. Analisis Biaya

Biaya energi pembangkit terbarukan berbeda dengan biaya energi untuk pembangkit konvensional. Hal ini

karena biaya energi terbarukan dipengaruhi oleh biaya investasi awal yang tinggi dengan biaya pemeliharaan dan operasional yang rendah. Analisis biaya pada penelitian ini meliputi perhitungan biaya investasi, biaya pemeliharaan dan operasional, biaya siklus hidup, biaya energi hingga analisis kecenderungan kenaikan harga minyak dunia.

Suku bunga yang digunakan untuk menghitung nilai bersih sekarang adalah sebesar 5.77%. Penentuan ini mengacu kepada tingkat suku bunga bank Indonesia pada tahun 2012 (BPS, 2012).

$$CRF(i, R_{proj}) = \frac{0.2571(1+0.0577)^{22}}{(1+0.0577)^{23}-1}$$

$$= 0,0765$$

$$C_{xpc} = \frac{174.475}{0.0765}$$

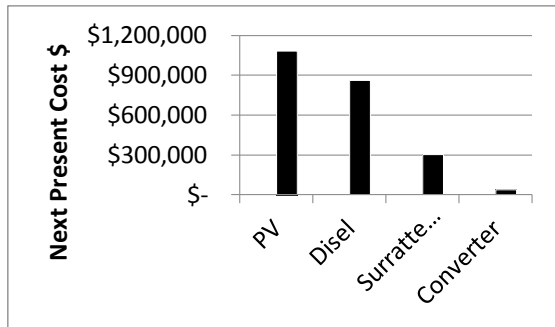
$$= \$ 2.279.961$$

Dan untuk menghitung biaya energi (COE) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim,Ac}}$$

$$= \frac{174.475}{205.130}$$

$$= \$ 0,851/kWh$$



Gambar 5.. Total Biaya Nilai bersih sekarang (NPC) setiap komponen PLTH

Gambar 5. diatas adalah total biaya NPC setiap komponen PLTH, dengan biaya PV sebesar \$1.080.247, disel \$860.024, baterai 301.533 da converter \$38.156 sehingga total biaya NPC untuk sistem PLTH ini sebesar \$2.279.961.

E. Kecenderungan Kenaikan harga Minyak Dunia

Harga minyak dunia yang cenderung meningkat tentu akan mempengaruhi biaya bahan bakar minyak (biaya variable) dalam perhitungan BPP energi listrik di Pulau Panjang. Apabila harga bahan bakar solar industri mengalami peningkatan harga, rata-rata sebesar 21,4% pertahun (sesuai dengan rata-rata kenaikan harga minyak dunia), maka akan terjadi kenaikan harga biaya per kWh PLTD tiap tahunnya. Perkiraan biaya per kWh PLTD sampai tahun 2036 ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6 biaya per kWh PLTD dan

PLTH terhadap kenaikan BBM 21,4% pertahun

Tahun	Harga Solar (\$)	Biaya per kWh (\$)	
		PLTD	PLTH
2012	0,95	0,39	0,85
2013	1,15	0,45	0,90
2014	1,40	0,53	0,95
2015	1,70	0,63	1,02
2016	2,06	0,75	1,10
2017	2,51	0,89	1,20
2018	3,04	1,06	1,31
2019	3,69	1,27	1,46
2020	4,48	1,52	1,63
2021	5,44	1,83	1,85
2022	6,61	2,20	2,10
2023	8,02	2,65	2,42
2024	9,74	3,20	2,80
2025	11,82	3,87	3,26
2026	14,35	4,68	3,82
2027	17,42	5,66	4,50
2028	21,15	6,85	5,32
2029	25,67	8,30	6,32
2030	31,16	10,06	7,54
2031	37,83	12,19	9,02
2032	45,93	14,78	10,81
2033	55,76	17,93	12,98
2034	67,69	21,75	15,63
2035	82,81	26,38	18,83
2036	99,76	32,01	22,73

Berdasarkan Tabel 2.6, biaya per kWh PLTH pada sembilan tahun pertama masih di atas biaya per kWh PLTD, namun pada tahun 2022, biaya per kWh PLTH lebih murah dari biaya per kWh PLTD. Memiliki biaya energi yang diprediksi terjadi 25 tahun mendatang semakin membuat biaya per kWh PLTD jauh lebih tinggi di atas biaya per kWh PLTH, tentu dengan ketersediaan sumber energi terbarukan yang tak terbatas dan penggunaannya

dapat membantu mengurangi polusi lingkungan di Pulau Panjang.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian studi kelayakan pembangkit hibrida di Pulau Panjang ini menghasilkan beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Telah dirancang sistem PLTH yang optimal menggunakan software HOMER menghasilkan sistem PLTH konfigurasi PLTD-PLTS dengan kapasitas panel surya 224,173 kW, baterai 210 unit kapasitas 6 V 1156 Ah, inverter 50 kW dan disel 248 kW.
2. Hasil pengujian sistem PLTH konfigurasi PLTD-PLTS didapatkan nilai kontribusi optimal PLTS sebesar 63% dan kontribusi PLTD sebesar 37%.
3. Sistem PLTH konfigurasi PLTD-PLTS menghasilkan nilai NPC terendah yaitu sebesar \$ 2.279.961 dan biaya listrik (COE) sebesar \$0,851/kWh. Dampak lingkungan (emisi) CO₂ yang dihasilkan pada sistem PLTH ini sebesar \$19583 kg/tahun berkurang 63,35% atau 598671 kg/tahun dari

kondisi awal dengan jumlah emisi CO₂ PLTD sebesar 716254 kg/tahun.

Saran

Masih terdapat kekurangan dalam penelitian ini sehingga perlu pengembangan agar menjadi lebih baik lagi. Terdapat beberapa saran diantaranya:

Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai potensi pembangkit terbarukan lainnya yang dapat dimanfaatkan di wilayah Pulau Panjang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal. Tak lupa kepada bapak H. Andri Suherman selaku ketua jurusan pendidikan fisika, beserta bapak dan ibu dosen fisika yang telah membimbing serta semua pihak yang telah membantudan mendukung sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

Astuti, (2010). *Optimasi Pembangkitan Energi Listrik Hibrida Surya-Angin-Diesel Di Desa Pulo Panjang Banten Menggunakan Algoritma Genetika*. Skripsi

- Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Badan Meteorologi dan Geofisika, (2012). *Data Radiasi Matahari, Arah Angin dan Kecepatan Angin Tahun 2012 Wilayah Banten*. Stasiun Meteorologi Kelas III Serang.
- Departemen Statistik Ekonomi dan Moneter, (2013). *Laporan Neraca Pembayaran Indonesia Realisasi Triwulan IV-2012*. Bank Indonesia.
- Gilbert, M. Masters. (2004). *Renewable and Efficient Electric Power Systems Chapter 6 and Chapter 9*. Standford University: A Jhon Wiley & Sons Inc Publication.
- Harlina, (2009). *Analisa Dampak Lingkungan dan Biaya Pembangkitan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sabusi Lampung Selatan*. Tesis Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Imron, A. (2013). *Studi Pemanfaatan Energi Matahari Di Pulau Panjang sebagai Pembangkit Listrik Alternatif*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Kunaifi, (2010). *Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida Di Propinsi Riau*. Seminar Nasional Informatika 2010 UPN.
- Miharja, F. (2012). *Perencanaan dan Manajemen Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin/Surya/Fuel Cell) Pulau Sumba menggunakan Software HOMER*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November.
- Mintorogo, D. (2000). *Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial*. Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Nurhalim, (2007). *Studi Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Pembangkit Hibrida*. Jurnal Sains dan Teknologi 6 (2) September: 34-38.
- Santiari, I Dewa A. S. (2011). *Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Industri Perhotelan Di Nusa Lembongan Bali*. Tesis Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- Sulasno, (1990). *Pusat Pembangkit Tenaga Listrik*. Semarang: Penerbit SW.
- Zamroni, M. (2012). *Kajian Sistem Peyediaan Energi Listrik Hybrid Sel PV-Diesel Di Pulau Sebir Kepulauan Seribu*. Jurnal Sarjana Institut Teknologi Bandung bidang Teknik Elektro dan Informatika